


MAGNETO-RESISTIVE FILM AND ITS PRODUCTION

Patent number: JP10188235
Publication date: 1998-07-21
Inventor: NAKADA MASABUMI; FUJIKATA JUNICHI
Applicant: NIPPON ELECTRIC CO
Classification:
 - international: G11B5/39; H01F10/08
 - european: H01F10/32N6
Application number: JP19960347219 19961226
Priority number(s): JP19960347219 19961226

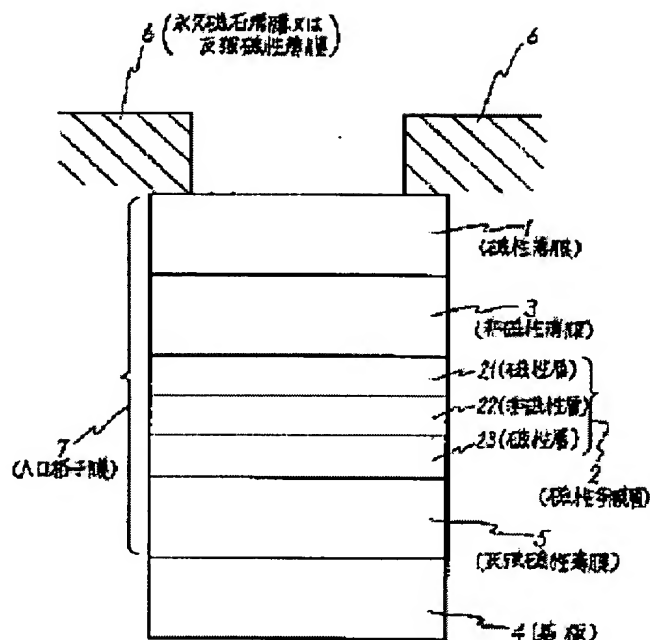
Also published as:

 US6051309 (A1)

Abstract not available for JP10188235

Abstract of corresponding document: **US6051309**

Disclosed are magnetoresistance effect films which have a magnetic thin film and an anti-ferromagnetically coupled magnetic multilayer thin film inserted into the interface between the non-magnetic thin film and the magnetic thin film, and a method for forming magnetoresistance effect films including the step of thermally treating the anti-ferromagnetic thin film and the magnetic multilayer thin film at a temperature of 200 to 300 DEG C. so as to generate one-directional anisotropy in the magnetic multilayer thin film, or the step of rotating by 90 DEG a magnetic field applied during the film formation so that the weak magnetization axes of the magnetic thin film and the magnetic multilayer thin film are orthogonal to each other.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-188235

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月21日

(51) Int.Cl.⁹

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/08

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/08

審査請求 有 請求項の数18 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平8-347219

(22) 出願日

平成8年(1996)12月26日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 藤方 潤一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 中田 正文

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

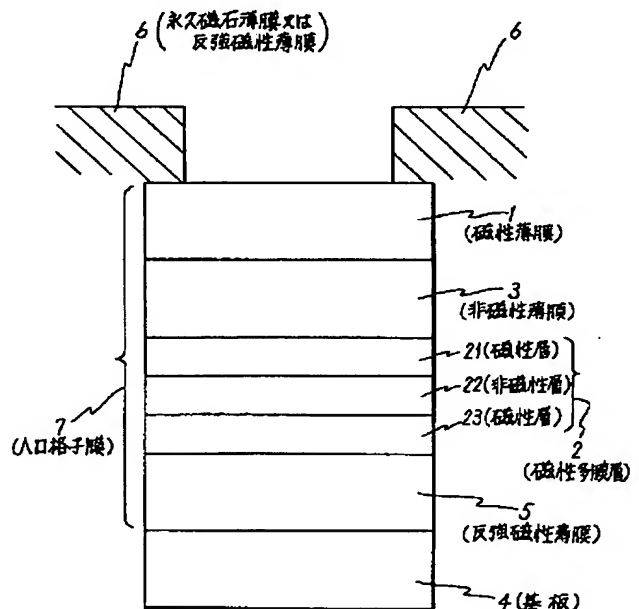
(74) 代理人 弁理士 高橋 勇

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果膜及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 ゼロ磁場前後で直線的に大きな抵抗変化を示し、しかも熱安定性及び磁界感度の優れた磁気抵抗効果膜及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明の磁気抵抗効果膜は、磁性薄膜1と反強磁性結合した磁性多層膜2とが非磁性薄膜3を介して隣接していることを特徴とする。磁性薄膜1と磁性多層膜2との飽和磁界をそれぞれ H_{S1} 、 H_{S2} とすると、 $H_{S1} < H_{S2}$ となる。また、反強磁性薄膜5に磁性多層膜2が積層されている。磁性多層膜2は、磁性層21、非磁性層22及び磁性層23の三層からなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁性薄膜と反強磁性結合した磁性多層膜とが非磁性薄膜を介して隣接していることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項2】 前記磁性薄膜と前記磁性多層膜との飽和磁界をそれぞれ H_{S1} 、 H_{S2} とすると、 $H_{S1} < H_{S2}$ となることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項3】 前記磁性多層膜に反強磁性薄膜が又は反強磁性薄膜に前記磁性多層膜が積層されていることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項4】 前記非磁性薄膜の厚みが20～40オングストロームであることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項5】 前記磁性多層膜が磁性層と非磁性層とを交互に積層した少なくとも三層からなることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項6】 前記磁性層の材質がNi、Fe、Co、FeCo、NiFe及びNiFeCoの中から選ばれた一又は二以上からなることを特徴とする請求項5記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項7】 前記非磁性層の材質がV、Cu、Mo、Ru、Rh、Re、Ir及びCrの中から選ばれた一又は二以上からなることを特徴とする請求項5記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項8】 前記反強磁性薄膜の材質がFeMn、IrMn、CrMn、CoMn、CuMn、PtMn、PdMn、RhMn及びNiMnの中から選ばれた一又は二以上からなることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項9】 前記反強磁性薄膜の材質が酸化コバルト、酸化ニッケル、酸化ニッケルコバルト及び α 相酸化鉄の中から選ばれた一又は二以上からなることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項10】 前記反強磁性薄膜の表面荒さが2.0～15オングストロームであることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項11】 前記非磁性薄膜の材質がAu、Ag、Cu及びRuの中から選ばれた一又は二以上からなることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項12】 前記磁性薄膜の膜厚が10～150オングストロームであることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項13】 前記磁性薄膜の材質がNi、Fe、Co、FeCo、NiFe及びNiFeCoの中から選ばれた一又は二以上からなることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項14】 前記非磁性薄膜と前記磁性薄膜との界面にCo、FeCo、NiCo又はNiFeCoを3～40オングストローム挿入することを特徴とする請求項

1、2、3又は4記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項15】 前記非磁性薄膜と前記磁性多層膜との界面にCo、FeCo、NiCo又はNiFeCoを3～40オングストローム挿入することを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項16】 前記反強磁性薄膜と前記磁性多層膜との界面にFeを3～30オングストローム挿入することを特徴とする請求項9記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項17】 前記反強磁性薄膜及び前記磁性多層膜を200～300℃で磁界中熱処理することにより、前記磁性多層膜に一方向異方性を誘起させることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項18】 前記磁性薄膜と前記磁性多層膜との容易軸方向が直交するように、成膜中印加磁界を90度回転させることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気媒体等から磁界強度を信号として読みとるための磁気抵抗効果素子に用いる磁気抵抗効果膜に関し、詳しくは小さい外部磁界で抵抗変化率が大きい磁気抵抗効果膜及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来技術では、磁気抵抗(MR)センサ又はヘッドと呼ばれる磁気読み取り変換機が開示されており、これは大きな線形密度で磁性表面からデータを読み取れることが分かっている。MRセンサは、読み取り素子によって感知される磁束の強さと方向の関数としての、抵抗変化を介して磁界信号を検出する。

【0003】こうしたMRセンサは、磁化方向と素子中を流れる感知電流の方向との間の角度の余弦の2乗に比例して読み取り素子の抵抗の1成分が変化する、異方性磁気抵抗(AMR)効果に基づいて動作する。AMR効果のより詳しい説明は、D. A. トムプソン(Thompson)等の論文“Memory, Storage, and Related Applications” IEEE Trans. on Mag. MAG-11, P. 1039 (1975)に掲載されている。

【0004】更に最近には、積層磁気センサの抵抗変化が、非磁性層を介する磁性層間での伝導電子のスピン依存伝送、及びそれに付随する層界面でのスピン依存散乱に帰される、より顕著な磁気抵抗効果が報告されている。この磁気抵抗効果は、「巨大磁気抵抗効果」や「スピンバルブ効果」など様々な名称で呼ばれている。このような磁気抵抗センサは適当な材料で出来ており、AMR効果を利用するセンサで観察されるよりも、密度が改善され、抵抗変化が大きい。この種のMRセンサでは、非磁性層で分離された1対の強磁性体層の間の平面内抵抗が、2つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変

化する。

【0005】特開平2-61572号公報には、磁性層間の磁化の反平行配列によって生じる、高いMR変化をもたらす積層磁性構造が記載されている。積層構造で使用可能な材料として、上記公報には強磁性層の遷移金属及び合金が挙げられている。また、中間層により分離されている少なくとも2層の強磁性層の一方に反強磁性層を付加した構造及び反強磁性層としてFeMnが適当であることが開示されている。

【0006】特開平4-358310号公報には、非磁性金属体の薄膜層によって仕切られた強磁性体の2層の薄膜層を有し、印加磁界が零である場合に2つの強磁性薄膜層の磁化方向が直交し、2つの非結合強磁性体層間の抵抗が2つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変化し、センサ中を流れる電流の方向とは独立なMRセンサが開示されている。

【0007】特願平6-214837号公報には、基板上に非磁性層を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けられており、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_R 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{C2} とした時に、 $H_{C2} < H_R$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性層が NiO 、 $Ni_xCo_{1-x}O$ 、 CoO から選ばれる少なくとも2種からなる超格子である磁気抵抗効果素子が開示されている。また、特願平7-136670号公報には、同じ構造からなる磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性層が NiO 上に CoO を10から40オングストローム積層した2層膜である磁気抵抗効果素子が開示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来の磁気抵抗効果膜では、次のような問題があった。

【0009】第一に、反強磁性薄膜を用いて隣接する磁性薄膜に一方向異方性を付与しているため、磁気抵抗効果素子の製造工程において磁界中熱処理による着磁工程が必要であるという問題があった。

【0010】第二に、比較的ネール温度の低い反強磁性薄膜を用いて隣接する磁性薄膜に一方向異方性を付与しているため、使用温度における一方向異方性の熱安定性が悪いという問題があった。

【0011】第三に、非磁性層を介して強磁性層が隣接する多層構造を有するため、素子としてパターンニングした時強磁性層が静磁的に結合し、素子感度が悪くなる、又は素子の出力の対称性が悪くなるという問題があった。

【0012】第四に、基本的に磁性薄膜／非磁性薄膜／磁性薄膜3層における伝導電子の平均自由行程長の変化を利用して抵抗変化を得る構造であるため、多層構造を有するカップリング型と呼ばれる磁気抵抗効果膜に比較して、抵抗変化率が小さいという問題があった。

【0013】

【発明の目的】本発明の目的は、ゼロ磁場前後で直線的に大きな抵抗変化を示し、しかも熱安定性及び磁界感度の優れた磁気抵抗効果膜及びその製造方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、磁性薄膜と反強磁性結合した磁性多層膜とが非磁性薄膜を介して隣接していることを特徴とする磁気抵抗効果膜及びその製造方法である。

【0015】このとき磁性薄膜と磁性多層膜との飽和磁界をそれぞれ H_{S1} 、 H_{S2} としたとき、 $H_{S1} < H_{S2}$ となることを特徴とする。これにより、 $H_{S1} < H < H_{S2}$ となる磁界(H)が印加されたとき、磁性薄膜と磁性多層膜との磁化方向が異なることにより抵抗値が最大となる。また、 $H < H_{S1}$ 又は $H_{S2} < H$ の磁界(H)が印加されたとき、磁性薄膜と磁性多層膜との磁化方向が平行となることにより抵抗値が最小となる。

【0016】したがって、従来の磁気抵抗効果膜と比較して、外部磁界に対して磁性多層膜の磁化の変化が小さいために、磁気抵抗効果素子としての使用温度における動作安定性が高まるとともに、反強磁性薄膜の磁界中熱処理が不要となり、加工容易性が高まる。

【0017】磁性多層膜は、磁性層と非磁性層とを交互に積層した少なくとも三層構造を有する。磁性多層膜における磁性層の材質は、 Ni 、 Fe 、 Co 、 $FeCo$ 、 $NiFe$ 、 $NiFeCo$ 又はこれらの合金を主成分とする。磁性多層膜における非磁性層の種類は、 V 、 Cu 、 Mo 、 Ru 、 Rh 、 Re 、 Ir 、 Cr 又はこれらの合金を主成分とする。このとき非磁性層の膜厚を4～15オングストロームとすることにより、磁性層間に大きな交換相互作用が生ずるので、反強磁性的相互作用が現われることになる。

【0018】磁性薄膜の材質は Ni 、 Fe 、 Co 、 $FeCo$ 、 $NiFe$ 、 $NiFeCo$ 又はこれらの合金が好ましい。これにより、非磁性薄膜／磁性薄膜界面での伝導電子の散乱の効果が大きく現れるので、より大きな抵抗変化が得られる。

【0019】更に、このような磁気抵抗効果膜は、磁性薄膜の磁化容易軸が印加信号磁界方向に対して垂直、かつ印加信号磁界方向の磁性薄膜の保磁力が $H_{C2} < H_{K2}$ になるように、磁性薄膜を磁場中成膜することにより製造できる。具体的には、磁性多層膜と磁性薄膜との容易磁化方向が直交するように、成膜中印加磁界を90度回転させる又は磁界中で基板を90度回転させることにより実現される。

【0020】磁性薄膜の膜厚は、150オングストローム以下が望ましい。膜厚を150オングストローム以上とすると、膜厚の増加に伴って電子散乱に寄与しない領域が増加し、巨大磁気抵抗効果が小さくなってしまふ。

一方、磁性薄膜の膜厚の下限は特にないが、10オングストローム以下は伝導電子の表面散乱の効果が大きくなり、磁気抵抗変化が小さくなる。また、厚さを10オングストローム以上とすれば、膜厚を均一に保つことが容易となるので特性も良好となるとともに、飽和磁化の大きさが小さくなりすぎることもない。

【0021】更に、磁性薄膜／非磁性薄膜界面にCo, FeCo, NiCo又はNiFeCoを挿入することにより、伝導電子の界面散乱確率が上昇しより大きな抵抗変化を得ることが可能である。挿入する膜厚の下限は3オングストロームである。これ以下では、挿入効果が減少するとともに、膜厚制御も困難となる。挿入する膜厚の上限は特にないが、40オングストローム程度が望ましい。これ以上にすると、磁気抵抗効果素子の動作範囲における出力にヒステリシスが現れる。

【0022】更に、このような磁気抵抗効果膜において、外部磁場を検知する磁性層に永久磁石薄膜を隣接させることにより、磁区安定化が図られるので、バルクハウゼンジャンプなどの非直線的な出力が回避される。永久磁石薄膜としては、CoCr, CoCrTa, CoCrTaPt, CoCrPt, CoNiPt, CoNiCr, CoCrPtSi, FeCoCrなどが好ましい。そして、これらの永久磁石薄膜の下地層として、Crなどが用いられてもよい。

【0023】非磁性薄膜は、磁性薄膜と磁性多層膜との磁気相互作用を弱める役割をはたす材料であり、高い磁気抵抗変化と優れた耐熱性を得るためにAu, Ag, Cu, Ru又はこれらの合金が好ましい。実験結果より非磁性薄膜の厚さは、20～40オングストロームが望ましい。一般に膜厚が40オングストロームを越えると、非磁性薄膜により抵抗が決ってしまい、スピンの依存する散乱効果が相対的に小さくなってしまい、その結果、磁気抵抗変化率が小さくなってしまふ。一方、膜厚が20オングストローム以下になると、磁性薄膜と磁性多層膜との磁気相互作用が大きくなりすぎるとともに、磁気的な直接接触状態（ピンホール）の発生も避けられないことから、磁性薄膜と磁性多層膜との磁化方向が異なる状態が生じにくくなる。また、非磁性薄膜の厚さにより、磁性薄膜と磁性多層膜との磁気相互作用が変化することから、磁気抵抗効果素子とした時のバイアスポイントを制御することも可能である。

【0024】反強磁性結合した磁性多層膜に反強磁性薄膜を付加して充分な交換結合磁界を印加することにより、磁性薄膜と磁性多層膜との飽和磁界 H_{S1} 、 H_{S2} の差が大きくなるので、磁気抵抗効果素子とした時の動作磁界（線形領域）が増加することになる。反強磁性薄膜の材質は、FeMn, IrMn, CrMn, CoMn, CuMn, PtMn, PdMn, RhMn, NiMn又はこれらの少なくとも2種から選択される合金からなることを特徴とする。なお、反強磁性薄膜を構成する層の数

は一以上いくつでもよい。

【0025】また、反強磁性薄膜の材質は、酸化コバルト、酸化ニッケル、酸化ニッケルコバルト、 α 相酸化鉄から選択される酸化物反強磁性体としてもよい。この場合、基板温度を室温から300℃として成膜することにより、結晶性が改善されバイアス磁界が上昇する。更に、この場合、反強磁性薄膜と磁性薄膜との間に3～30オングストロームのFeを挿入することにより、磁性薄膜の酸化が抑制されるので、熱処理をした時の交換結合磁界の低下又は抵抗変化率の低下が著しく改善される。例えば、酸化物反強磁性体からなる反強磁性薄膜の表面荒さを2から15オングストロームとすることにより、反強磁性結合した磁性多層膜の飽和磁界が増加する。

【0026】成膜は、蒸着法、スパッタリング法、分子線エピタキシー法（MBE）等の方法で行う。また、磁気抵抗効果膜を形成する基板としては、ガラス、Si、MgO、 Al_2O_3 、GaAs、フェライト、CaTi $_2$ O $_3$ 、BaTi $_2$ O $_3$ 、 Al_2O_3 -TiC等を用いることができる。

【0027】磁性薄膜又は非磁性薄膜の膜厚は、透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、オージェ電子分光分析等により測定することができる。また、薄膜の結晶構造は、X線回折や高速電子線回折等により確認することができる。

【0028】本発明の磁気抵抗効果膜により磁気抵抗効果素子を構成する場合において、人工格子膜の繰り返し積層回数Nに特に制限はなく、目的とする磁気抵抗変化率等に応じて適宜選定すればよい。

【0029】なお、最上層の表面には、Ta, Cu, Ru, Rh, Mo, Cr, 窒化珪素、酸化珪素、酸化アルミ等の酸化防止膜が設けられてもよく、電極引出しのための金属導電層が設けられてもよい。

【0030】また、磁気抵抗効果素子中に存在する磁性薄膜の磁気特性を直接測定することはできないので、通常、次のようにして測定する。測定すべき磁性薄膜（又は磁性層）を、磁性薄膜の合計厚さが500～1000オングストローム程度になるまで非磁性薄膜（又は非磁性層）と交互に成膜して測定用サンプルを作製し、これについて磁気特性を測定する。この場合、磁性薄膜及び非磁性薄膜（又は磁性層及び非磁性層）の厚さと組成は、磁気抵抗効果測定素子におけるものと同じにする。

【0031】

【発明の実施の形態】次に、本発明の磁気抵抗効果膜の一実施形態について作用を中心に説明する。

【0032】本発明の磁気抵抗効果膜では、一方の磁性薄膜に非磁性薄膜を介して隣接して反強磁性結合した磁性多層膜が形成されていて、磁性薄膜の飽和磁界を H_{S1} 、磁性多層膜の飽和磁界を H_{S2} としたとき、 $H_{S1} < H_{S2}$ としている。

【0033】その理由は、本発明の原理が隣合った磁性薄膜と反強磁性結合した磁性多層膜の磁化の向きが互いに逆向きに向いたとき、最大の抵抗を示すことにあるからである。すなわち、本発明では図3で示すごとく外部磁場Hが磁性薄膜の飽和磁界 H_{S1} と磁性多層膜の飽和磁界 H_{S2} との間であるとき、すなわち $H_{S1} < H < H_{S2}$ であるとき、磁性薄膜と磁性多層膜との磁化の方向が互いに逆向きになることにより、抵抗が増大する。

【0034】図2は、本発明の磁気抵抗効果膜を用いたMRセンサの一例を示す展開斜視図である。

【0035】このMRセンサは、図2に示すように、基板4上に形成された人工格子膜7からなり、基板4上に形成された反強磁性結合した磁性多層膜2の上に、非磁性薄膜3を介して磁性薄膜1が隣接して積層されている。このとき、磁性薄膜1と磁性多層膜2の磁化容易方向を直交させ、磁気記録媒体8から放出される信号磁界が磁性薄膜1の磁化容易方向に対し垂直となるように設定する。このとき、磁性多層膜2は、反強磁性薄膜5により一方向異方性が付与されている。そして、磁性薄膜1の磁化方向が、磁気記録媒体8の信号磁界の大きさに応答して回転することにより、抵抗が変化する。これにより磁場を検知することができる。

【0036】ここで、外部磁場と磁化の方向の関係を説明する。図3に示すように、磁性薄膜1の飽和磁界を H_{S1} 、磁性多層膜2の飽和磁界を H_{S2} とする。最初、外部磁場Hを $H < -H_{S2}$ となるように印加しておく（領域

(A)）。このとき、磁性薄膜1及び磁性多層膜2の磁化方向は、Hと同じ（負）方向に向いている。次に外部磁場Hを弱めていくと $-H_{S2} < H < -H_{S1}$ （領域

(B)）において、磁性多層膜2の磁化方向が＋方向に反転し、磁性薄膜1及び磁性多層膜2の磁化方向は互いに逆向きになる。 $-H_{S1} < H < H_{S1}$ （領域(C)）において磁性薄膜1の磁化は＋方向に回転し、磁性薄膜1及び磁性多層膜2の磁化方向は互いに同じ向きになる。更に外部磁場を大きくした $H_{S1} < H$ の領域(D)、 $H_{S2} < H$ の領域(E)では、磁性多層膜2の磁化が＋方向に更に回転し、磁性薄膜1及び磁性多層膜2の磁化方向は＋方向に揃って向く。

【0037】図4に示すように、この磁気抵抗効果膜の抵抗は磁性薄膜1及び磁性多層膜2の相対的な磁化方向によって変化し、ゼロ磁場前後で直線的に変化し、領域(B)（逆方向に磁界を印加した場合は領域(D)）で最大の値(R_{MAX})をとるようになる。

【0038】

【実施例】次に、本発明の磁気抵抗効果膜を用いて磁気抵抗効果素子を構成した例について説明する。

【0039】図1は、本発明の磁気抵抗効果膜の一実施例である人工格子膜7の断面図である。

【0040】人工格子膜7は、基板4上に磁性薄膜1、及び反強磁性結合した磁性多層膜2を有し、磁性薄膜1

と磁性多層膜2との間に非磁性薄膜3を有する。磁性多層膜2には反強磁性薄膜5が隣接していてもよい。磁性多層膜2は、磁性層21、非磁性層22及び磁性層23の三層構造となっている。また、磁性薄膜1には別の反強磁性薄膜又は永久磁石薄膜6が隣接して積層されている。この人工格子膜7がスピナル膜として動作する。

【0041】以下、具体的な実験結果により請求項で示した材料について説明する。

10 【0042】基板としてガラス基板を用い真空装置の中に入れ、 10^{-7} Torr台まで真空引きを行う。

【0043】反強磁性薄膜を用いない場合、基板温度を室温に保ち、下地層(Ru等)及び反強磁性結合した磁性多層膜 $[(NiFe, Co, FeCo, NiCo, NiFeCo) / (V, Cu, Mo, Ru, Rh, Re, Ir, Cr) / (NiFe, Co, FeCo, NiCo, NiFeCo)]_x$ を成膜する。反強磁性薄膜として酸化物反強磁性体を用いる場合、基板温度を室温 $\sim 300^\circ C$ に保ち、NiOを100 \sim 1000オングストローム、Fe-O薄膜を20から100オングストロームの厚さで形成し、続いて磁性多層膜 $[(NiFe, Co, FeCo, NiCo, NiFeCo) / (V, Cu, Mo, Ru, Rh, Re, Ir, Cr) / NiFe, Co, FeCo, NiCo, NiFeCo)]_x$ を成膜する。

【0044】上記のように磁性多層膜を形成後、基板温度を室温に戻し、非磁性薄膜及び磁性薄膜を形成する。このとき、磁性多層膜と磁性薄膜の磁化容易軸とが直交するように、成膜中印加磁界を90度回転させる。また、反強磁性薄膜としてMn系反強磁性材料を用いる場合は、磁性多層膜と磁性薄膜との積層順序を逆にする。

【0045】反強磁性薄膜を用いる場合、この人工格子膜を加熱炉に入れ、3000eから3kOeのDC磁界を交換結合層（反強磁性結合した磁性多層膜）の容易磁化方向に印加しながら200 \sim 300 $^\circ C$ で熱処理し、磁気抵抗効果膜とする。

【0046】成膜は、ガラス基板両脇にNdFeB磁石を配置し、ガラス基板と平行に3000e程度の外部磁場が印加されているような状態で行った。この試料のB-H曲線を測定すると成膜中磁場印加方向が磁性薄膜の磁化容易軸となる。

【0047】そして、以下に示す人工格子膜は、磁性薄膜及び非磁性薄膜（又は磁性層及び非磁性層）について約0.8 \sim 2.0オングストローム/秒の成膜速度で成膜を行った。

【0048】なお、例えばRu(20)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(30)/NiFe(60)と表示されている場合、基板上にRu薄膜を20オングストローム、Co薄膜を20オングストローム、Ru薄膜を4オングストローム、Co薄膜を20オ

ングストローム積層して磁性多層膜を形成後、30オングストローム厚のCu薄膜、60オングストローム厚のNi80%-Fe20%薄膜を順次成膜して、非磁性薄膜及び磁性薄膜を形成したことを意味する。

【0049】磁化の測定は、振動試料型磁力計により行った。抵抗測定は、試料から $1.0 \times 10 \text{ mm}^2$ の形状のサンプルを作製し、外部磁界を面内に電流と垂直方向

$$\Delta R/R = (R_{\text{MAX}} - R_{\text{MIN}}) / R_{\text{MIN}} \times 100 [\%] \dots (1)$$

【0051】作製したスピナル膜を以下に示す。

【0052】1. 非磁性薄膜Cu

【0053】(a) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0054】2. 磁性薄膜と非磁性薄膜との界面へのCo系磁性材料挿入

【0055】(a) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Cu(20~40)/Co(3~40)/NiFe(20~150)

【0056】(b) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Cu(20~40)/CoFe(3~40)/NiFe(20~150)

【0057】(c) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Cu(20~40)/NiFeCo(3~40)/NiFe(20~150)

【0058】3. 磁性薄膜Co₉₀Fe₁₀

【0059】(a) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/Co₉₀Fe₁₀(20~150)

【0060】4. 非磁性薄膜Au

【0061】(a) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Au(20~40)/NiFe(20~150)

【0062】5. 非磁性薄膜Ag

【0063】(a) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Ag(20~40)/NiFe(20~150)

【0064】6. 非磁性薄膜Ru (a) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Ru(20~40)/NiFe(20~150)

【0065】7. 非磁性薄膜Cu_{1-x}Ag_x

【0066】(a) glass/Ru(20)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu_{1-x}Ag_x(20~40)/NiFe(20~150)

【0067】8. 反強磁性薄膜の酸化物サンプル

【0068】(a) glass/NiO(150~500)/Fe-O(20)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0069】(b) glass/NiCoO(150~

になるようにかけながら、-1000~1000Oeまで変化させたときの抵抗を4端子法により測定し、その抵抗から磁気抵抗変化率 $\Delta R/R$ を求めた。低抵抗変化率 $\Delta R/R$ は、最大抵抗値を R_{MAX} 、最小抵抗値を R_{MIN} とし、次式により計算した。

【0050】

500)/Fe-O(20)/Co(20)/Ru

10 (4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0070】(c) glass/Fe-O(150~500)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0071】(d) glass/NiO(150~500)/Co-O(10)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0072】9. 酸化防止層厚依存サンプル

【0073】(a) glass/NiO(150~500)/Fe-O(20)/Fe(3~30)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0074】(b) glass/NiCoO(150~500)/Fe-O(20)/Fe(3~30)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0075】(c) glass/Fe-O(150~500)/Fe(3~30)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0076】(d) glass/NiO(150~500)/Co-O(10)/Fe(3~30)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/Cu(20~40)/NiFe(20~150)

【0077】10. 反強磁性薄膜のMn系サンプル

【0078】(a) glass/Ta(50)/NiFe(20~150)/Cu(20~40)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/FeMn(300)/Ta(50)

【0079】(b) glass/Ta(50)/NiFe(20~150)/Cu(20~40)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/NiMn(300)/Ta(50)

【0080】(c) glass/Ta(50)/NiFe(20~150)/Cu(20~40)/Co(20)/Ru(4)/Co(20)/PtMn(300)/Ta(50)

【0081】(d) glass/Ta(50)/NiFe(20~150)/Cu(20~40)/Co(2

0) / Ru (4) / Co (20) / PdMn (300) / Ta (50)

【0082】(e) glass / Ta (50) / NiFe (20~150) / Cu (20~40) / Co (20) / Ru (4) / Co (20) / PdPtMn (300) / Ta (50)

【0083】(f) glass / Ta (50) / NiFe (20~150) / Cu (20~40) / Co (20) / Ru (4) / Co (20) / CoMn (300) / Ta (50)

【0084】(g) glass / Ta (50) / NiFe (20~150) / Cu (20~40) / Co (20) / Ru (4) / Co (20) / CrMn (300) / Ta (50)

【0085】(h) glass / Ta (50) / NiFe (20~150) / Cu (20~40) / Co (20) / Ru (4) / Co (20) / CuMn (300) / Ta (50)

【0086】図5は、磁性多層膜の飽和磁界の非磁性層膜厚依存性を示すグラフである。反強磁性結合した磁性多層膜の飽和磁界は、Ru, Cr, Cu, Rh非磁性層に対し、3~8オングストロームで極大値を示す。また、その大きさは8~12kOe程度であり、従来のスピナル膜の固定層の飽和磁界と比較して桁違いに大きく、外部磁界に対する安定性に優れることが分かる。

【0087】図6は、抵抗変化率の非磁性薄膜膜厚依存性を示すグラフである。抵抗変化率は、非磁性薄膜の膜厚20~40オングストロームで極大値をとり、2~6%の値が得られることが分かる。

【0088】図7は、抵抗変化率の磁性薄膜膜厚依存性を示すグラフである。抵抗変化率は磁性薄膜の膜厚60オングストローム付近で極大値をとる。すなわち、スピナル依存散乱に寄与する有効膜厚がこの膜厚範囲にあることが分かる。

【0089】図8は、酸化物反強磁性薄膜を用いた場合の交換結合磁界の、反強磁性薄膜/磁性層(磁性多層膜)界面のFe層膜厚依存性を示すグラフである。これは、260℃熱処理後を行ったものである。交換結合磁界の低下はFe層を挿入することにより抑制され、このとき低抵抗変化率についても耐熱性が向上した。

【0090】図9及び図10は、Mn系反強磁性薄膜及び酸化物反強磁性薄膜を用いた場合の交換結合磁界を示したものである。磁気抵抗効果素子として用いる場合2000e以上の交換結合磁界が必要とされる。

【0091】図11及び図12は本発明の磁気抵抗効果膜の典型的なB-H曲線及びM-R曲線である。

【0092】図13は本発明の磁気抵抗効果膜からなるスピナル膜を素子高さ1μm、素子幅1.2μmとし、隣接して磁区安定化膜としてCoCrPt永久磁石膜を配置した時の素子のMR曲線を示したものである。

これより、永久磁石薄膜により磁区安定化が図られバルクハウゼンジャンプなどの非直線的な出力が回避されると共に、通常の異方性磁気抵抗効果と比較して6~10倍程度の出力が得られた。

【0093】なお、本発明に係る磁気抵抗効果膜に対して微細加工を施すことにより素子高さを0.5から1.5μmとし、磁界を検出する際の検出電流の密度を0.5から 5×10^7 A/cm²として、磁気抵抗効果素子を構成してもよい。本発明に係る磁気抵抗効果膜に対して磁性薄膜を十分なバイアスを生じさせ単磁区化することにより、磁気抵抗効果素子を構成してもよい。上記バイアスを生じさせる手段が、磁性薄膜に隣接して配置された永久磁石膜や、磁性薄膜に隣接して配置された別の反強磁性薄膜によるものとしてもよい。

【0094】上記磁気抵抗効果素子の上下を絶縁層を介して、高透磁率軟磁性材料ではさんでシールド型磁気抵抗センサを構成してもよい。上記磁気抵抗効果素子から高透磁率軟磁性材料で信号磁界を導く構造からなるヨーク型磁気抵抗センサを構成してもよい。上記磁気抵抗効果素子と、検出される磁界の関数として磁気抵抗効果素子の抵抗変化率を検出する手段とから磁気抵抗検出システムを構成してもよい。

【0095】

【発明の効果】本発明に係る磁気抵抗効果膜及びその製造方法によれば、磁性薄膜と反強磁性結合した磁性多層膜とを非磁性薄膜を介して隣接させたことにより、ゼロ磁場前後で直線的に抵抗変化し、しかも熱安定性に優れたスピナル多層膜を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気抵抗効果膜の一部省略側面図である。

【図2】本発明の磁気抵抗効果膜を用いた磁気抵抗センサの立体展開図である。

【図3】本発明の磁気抵抗効果膜の作用原理を説明するB-H曲線を示すグラフである。

【図4】本発明の磁気抵抗効果膜の作用原理を説明するR-H曲線を示すグラフである。

【図5】本発明の磁気抵抗効果膜における磁性多層膜の飽和磁界の非磁性層膜厚依存性を示すグラフである。

【図6】本発明の磁気抵抗効果膜における抵抗変化率の非磁性薄膜膜厚依存性を示すグラフである。

【図7】本発明の磁気抵抗効果膜における抵抗変化率の磁性薄膜膜厚依存性を示すグラフである。

【図8】本発明の磁気抵抗効果膜における交換結合磁界のFe挿入層膜厚依存性を示すグラフである。

【図9】本発明の磁気抵抗効果膜におけるMn系反強磁性薄膜を用いた場合の交換結合磁界を示す図表である。

【図10】本発明の磁気抵抗効果膜における酸化物反強磁性薄膜を用いた場合の交換結合磁界を示す図表である。

【図11】本発明の磁気抵抗効果膜のB-H曲線を示す

グラフである。

【図12】本発明の磁気抵抗効果膜のMR曲線を示すグラフである。

【図13】本発明の磁気抵抗効果膜を用いた磁気抵抗効果素子のMR曲線を示すグラフである。

【符号の説明】

1 磁性薄膜

2 磁性多層膜

3 非磁性薄膜

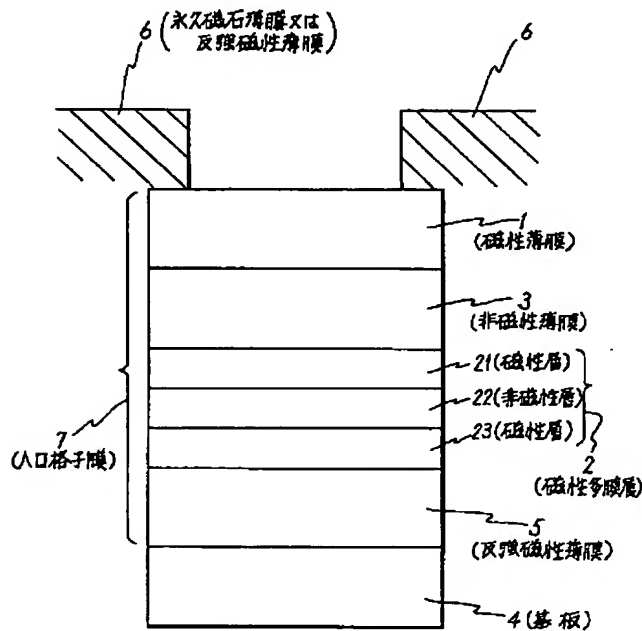
4 基板

5 反強磁性薄膜

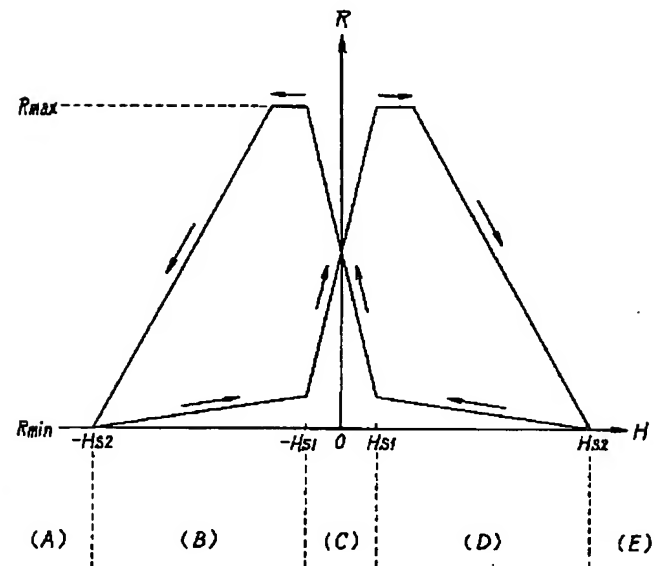
6 別の反強磁性薄膜又は永久磁石薄膜

7 人工格子膜

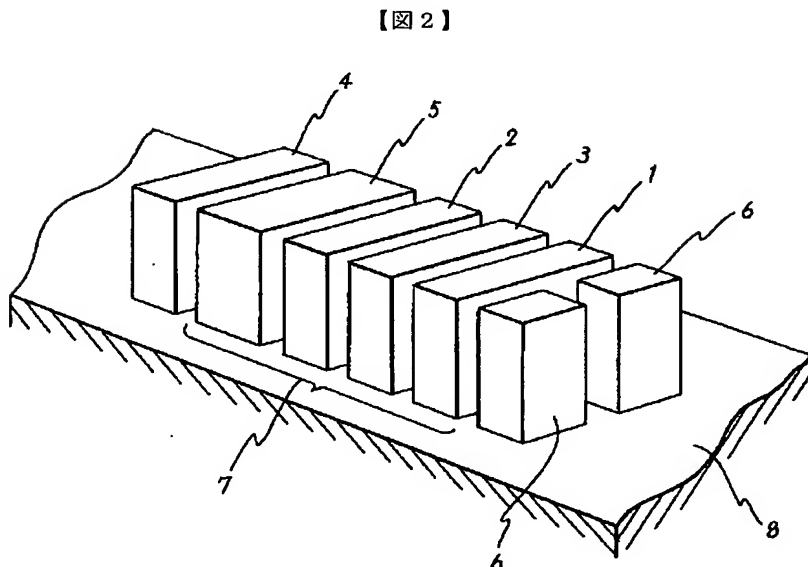
【図1】



【図4】

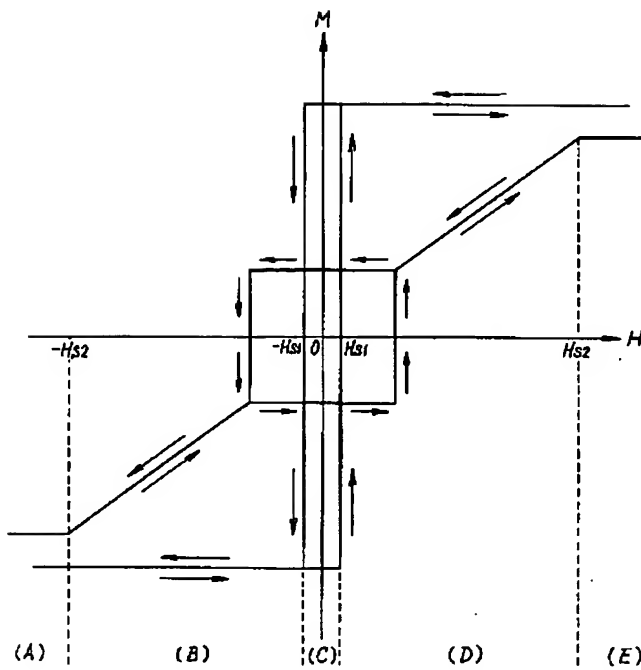


【図9】

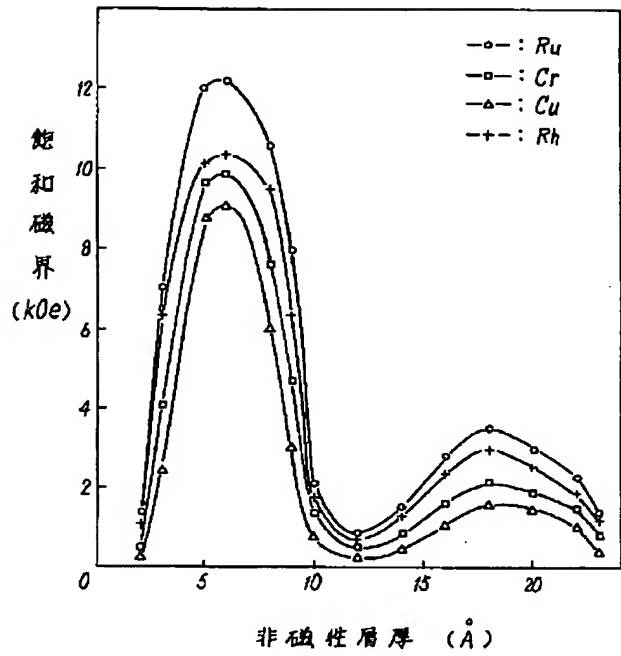


反強磁性薄膜	交換結合磁界
FeMn	250 [Oe]
NiMn	610 [Oe]
PtMn	450 [Oe]
PdMn	470 [Oe]
PdPtMn	500 [Oe]
CoMn	230 [Oe]
CrMn	330 [Oe]
CuMn	120 [Oe]

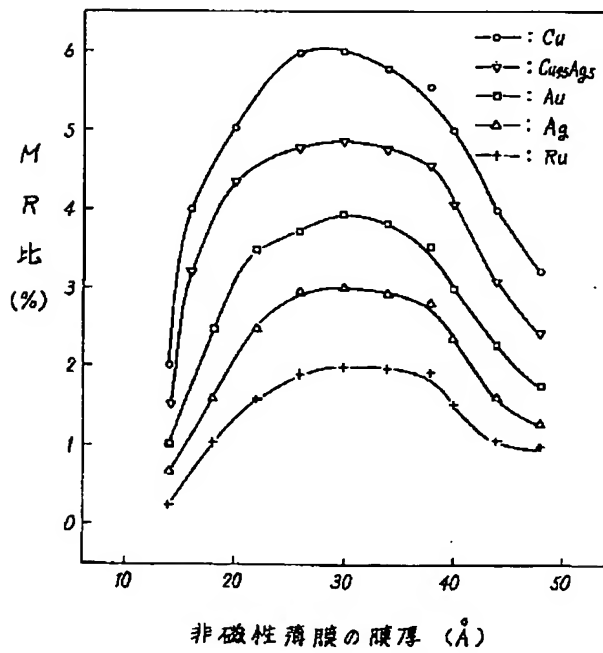
【図3】



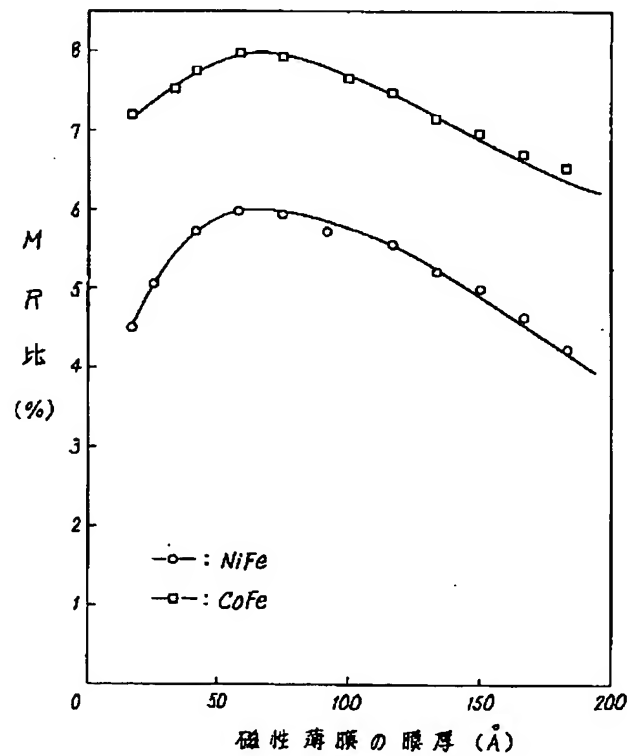
【図5】



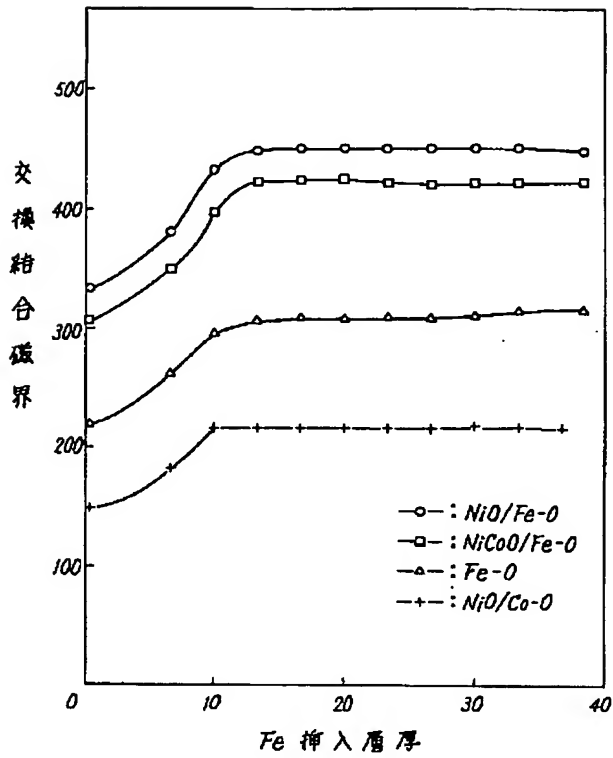
【図6】



【図7】



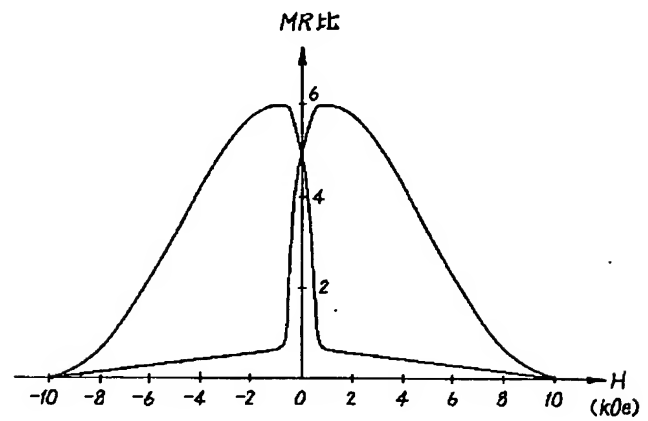
【図8】



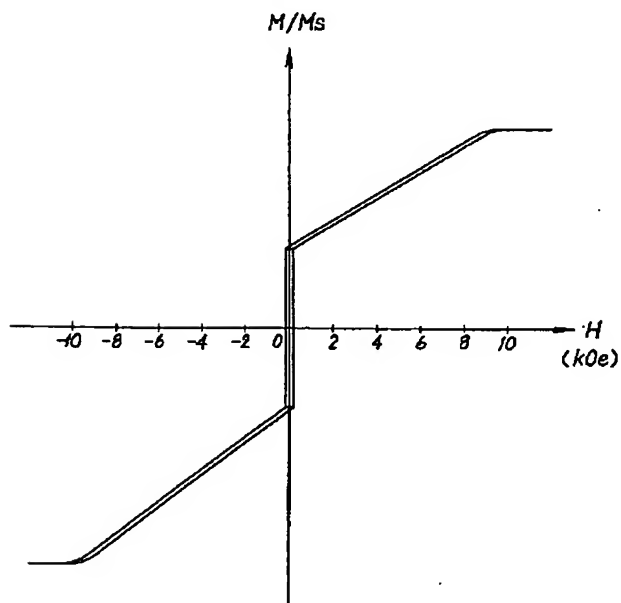
【図10】

反強磁性薄膜	交換結合磁界
NiO	208 [Oe]
NiO/Fe-O	450 [Oe]
NiCoO/Fe-O	420 [Oe]
Fe-O	300 [Oe]
NiO/Co-O	201 [Oe]
Fe-O/Co-O	220 [Oe]

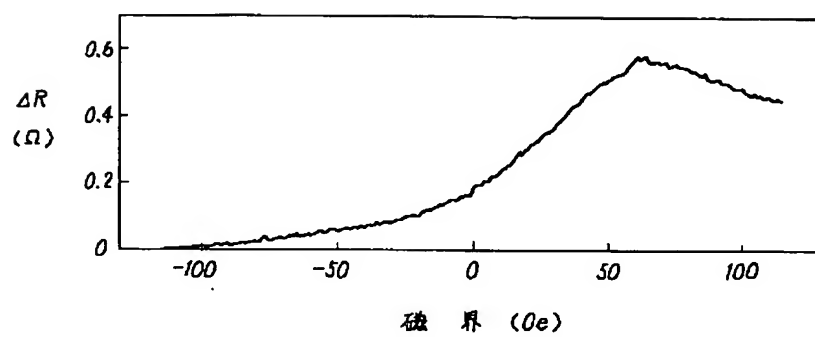
【図12】



【図11】



【図13】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.